

## Bosques y árboles para la adaptación social al cambio y la variabilidad del clima

Emilia Pramova<sup>1\*</sup>, Bruno Locatelli<sup>1,2</sup>, Houria Djoudi<sup>3</sup> y Olufunso A. Somorin<sup>4,5</sup>

### Resumen

Los ecosistemas proporcionan servicios importantes que pueden ayudar a las personas a adaptarse a la variabilidad y cambio climáticos. Reconociendo este papel de los ecosistemas, varias organizaciones internacionales y no gubernamentales han promovido un enfoque para la adaptación basado en los ecosistemas. En este artículo se revisa la literatura científica referente a la adaptación basada en los ecosistemas (ABE) con bosques y árboles, y se resaltan cinco casos en que los bosques y los árboles pueden apoyar a la adaptación: (1) bosques y árboles que proveen bienes a las comunidades locales que enfrentan amenazas climáticas, (2) árboles en los campos agrícolas que regulan el agua, el suelo y el microclima para una producción más resiliente, (3) cuencas hidrográficas boscosas que regulan el agua y protegen los suelos reduciendo los impactos climáticos, (4) bosques que protegen zonas costeras de amenazas relacionadas con el clima, y (5) bosques urbanos y árboles que regulan la temperatura y el agua para ciudades más resilientes. La literatura proporciona pruebas de que la ABE con bosques y árboles puede reducir la vulnerabilidad social a los riesgos climáticos, sin embargo, todavía quedan las incertidumbres y brechas de conocimiento, sobre todo para regular los servicios de las cuencas hidrográficas y las zonas costeras. Se han realizado pocos estudios sobre la ABE específicamente, pero se puede utilizar la abundante literatura que existe sobre los servicios ecosistémicos para llenar los vacíos de conocimiento. Muchos estudios evalúan los múltiples beneficios de los ecosistemas para la adaptación humana y el bienestar, pero también reconocen compensaciones entre los servicios ecosistémicos. Se requiere una mejor comprensión de la eficiencia, los costos y beneficios, y las compensaciones de la ABE con bosques y árboles. Los proyectos piloto en ejecución pueden servir como sitios de aprendizaje y la información existente puede ser sistematizada y abordada de nuevo con un enfoque de adaptación al cambio climático.

### Introducción

El cambio climático afectará el bienestar humano en muchas partes del mundo<sup>1</sup> y es necesaria una adaptación eficaz,

incluso en los casos de mitigación más severos.<sup>2</sup> El papel de los bienes y servicios ecosistémicos en la adaptación de la sociedad al cambio y la variabilidad del clima ha recibido un interés renovado. La adaptación basada en ecosistemas (ABE) es un enfoque antropocéntrico en el que los servicios ecosistémicos se conservan o restauran para reducir la vulnerabilidad de las personas que se enfrentan a las amenazas del cambio climático.<sup>3,4</sup> Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas y pueden clasificarse como servicios de suministro (p. ej. madera y leña), servicios de regulación (p. ej. regulación del agua), y servicios culturales (p. ej. recreación).<sup>5</sup> Ejemplos de la ABE incluyen la restauración de manglares para la protección de los asentamientos costeros contra las tormentas y las olas, y la conservación de cuencas forestales para la reducción del riesgo de inundaciones.

Muchas organizaciones internacionales y no gubernamentales de conservación y desarrollo han promovido la ABE, destacando su eficacia en la reducción de la vulnerabilidad social, su rentabilidad y sus beneficios colaterales para la conservación de la biodiversidad, la reducción de la pobreza y la mitigación del cambio climático.<sup>6-12</sup> Sin embargo, la evidencia sobre la eficacia de la ABE debe reforzarse,<sup>13</sup> en particular porque proyectos piloto están comenzando, por ejemplo, en Colombia, Tanzania y Sri Lanka.<sup>9</sup>

Como un primer paso para abordar esta necesidad, se presenta literatura científica relacionada con el papel de los servicios ecosistémicos forestales y arbóreos en la reducción de la vulnerabilidad social al cambio y variabilidad climáticos. Esta literatura está agrupada en cinco 'casos'. Para cada caso, se describen los hallazgos y evidencias de trabajos que tratan explícitamente sobre los tres elementos siguientes: variabilidad o cambio climático, vulnerabilidad social, y servicios ecosistémicos de bosques o árboles. Luego se discuten las incertidumbres, controversias y compensaciones mutuas utilizando una literatura más amplia.

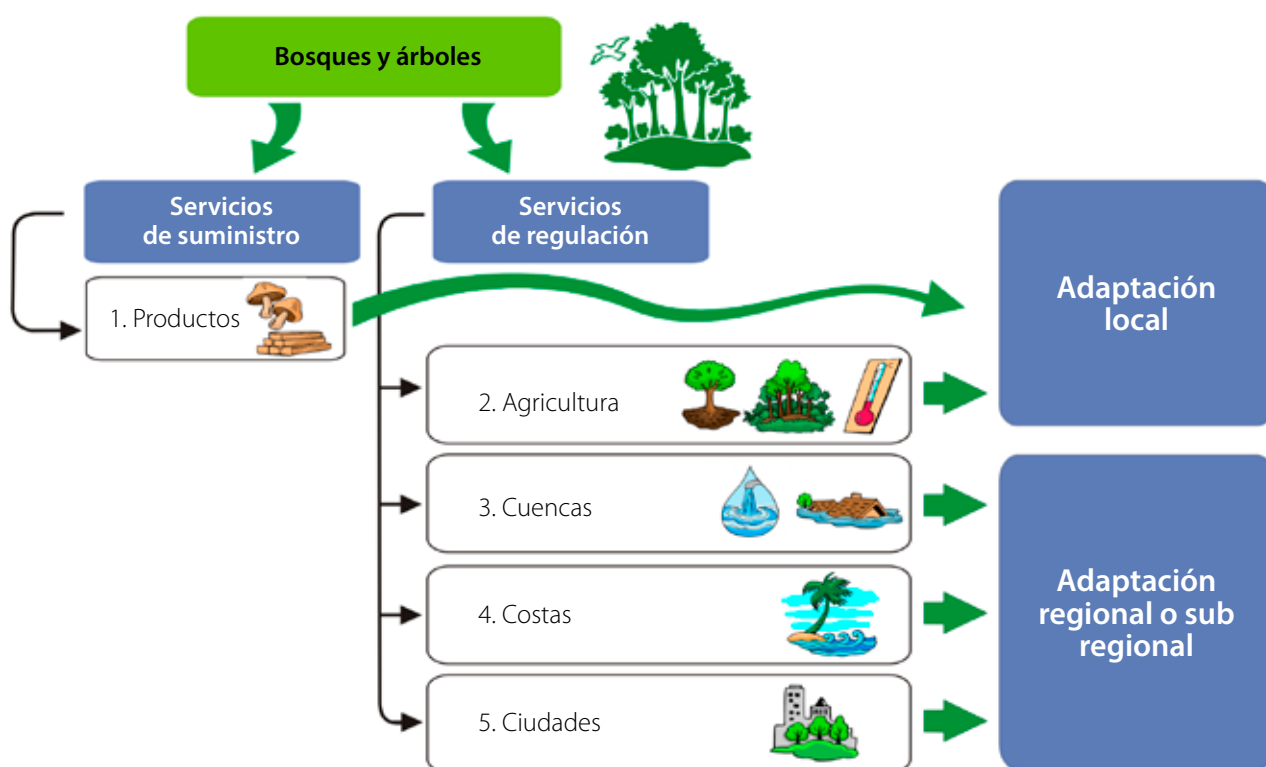
1 Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Bogor, Indonesia

2 Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica Para el Desarrollo (CIRAD), Montpellier, Francia

3 Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Bogor, Indonesia

4 Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Yaoundé, Camerún

5 Forest and Nature Conservation Policy Group, Universidad de Wageningen, Wageningen, Países Bajos



**Los bosques y árboles proporcionan servicios ecosistémicos importantes para la adaptación social**

### Caso 1: Bosques y árboles proveen de bienes a las comunidades locales que enfrentan amenazas climáticas

Los productos forestales y arbóreos, como la madera, el carbón, la leña y los productos forestales no maderables (PFNM; p. ej. frutos silvestres, setas, raíces y forraje) constituyen redes de seguridad importantes, y forman parte de las estrategias de diversificación de ingresos en muchas comunidades de países en vías de desarrollo que se enfrentan a la variabilidad climática y los riesgos climáticos.

Las comunidades rurales utilizan los productos forestales como parte de sus estrategias de superación o de reacción (es decir, para hacer frente a situaciones de estrés) cuando falla la cosecha debido a la sequía. Durante y después de los períodos de sequía de 2005-2006 en las zonas semiáridas de Tanzania, los hogares consumieron productos forestales directamente como parte de su dieta, y obtuvieron el 42 % de sus ingresos totales por la venta de frutos silvestres, leña, madera y carbón.<sup>14</sup> En las zonas rurales del Perú, se utiliza la recolección de frutos silvestres, palmitos y otros productos como una estrategia importante para hacer frente a las inundaciones.<sup>15</sup> En Honduras, los productos forestales también juegan un papel importante en las estrategias posteriores a los desastres: los hogares rurales vendieron madera y otros productos para recuperarse de las pérdidas en sus tierras durante el Huracán Mitch.<sup>16</sup>

Muchas comunidades agrarias también utilizan los productos forestales y arbóreos, para la diversificación de sus ingresos

como una estrategia adaptativa (es decir, anticipándose a las situaciones de estrés). La diversificación de los medios de subsistencia es la principal estrategia para hacer frente a la variabilidad del clima en Tanzania, y se consigue en parte con la recolección de leña, frutos, especias, forrajes, medicinas tradicionales y carne, y con la producción de madera, carbón vegetal y ladrillos.<sup>17</sup> En algunas de las áreas estudiadas en Tanzania, hasta el 68 % del ingreso familiar proviene de los bosques. Las comunidades rurales de la cuenca del Congo utilizan ampliamente los bosques para su subsistencia y medios de vida, y también para hacer frente a la variabilidad climática relacionada con el inicio y la duración de la temporada de lluvias.<sup>18-20</sup> El manejo forestal sostenible realizado por comunidades de las laderas ha mejorado los medios de vida de los pobladores locales en Bolivia, a través de la provisión de madera y productos forestales no maderables, y ha aumentado su resistencia a la sequía y a la precipitación irregular.<sup>21</sup>

Los agricultores de África occidental han estado manejando los árboles desde hace mucho tiempo, para reducir su sensibilidad a la variabilidad del clima, cosechando sus productos en forma continua. Estos productos incluyen el forraje para el ganado durante la estación seca, la leña, frutos y productos medicinales consumidos o vendidos, por ejemplo, en Níger,<sup>22,23</sup> Malí,<sup>24</sup> o Burkina Faso.<sup>25</sup> En Rajastán, India, los agricultores suelen vender forraje de *Prosopis cineraria* y *Ziziphus nummularia* (árboles que se mantienen en las tierras de cultivo) a un precio más alto durante los años de sequía para compensar la pérdida de ingresos de los cultivos.<sup>26</sup> Se encontró que los sistemas de

cultivo de multiniveles basados en el árbol de mango en las tierras inundables de Padma, en Bangladesh, aumentaron la resiliencia de los agricultores a eventos relacionados con el clima y otros desastres, proporcionando diversos productos durante todo el año (p. ej. el fruto, madera, corteza y hojas del mango, y trigo, caña de azúcar, papaya, plátano, jengibre, curcuma, y varias especies de vegetales).<sup>27</sup> Aunque los árboles de sombra densa como el karité (*Vitellaria paradoxa*) y neré (*Parkia biglobosa*) pueden reducir los rendimientos del mijo, ellos son valorados por los agricultores en África occidental debido a que el valor de los productos forestales compensa las pérdidas de rendimiento de los cultivos, sobre todo cuando hay sequías.<sup>28</sup> Del mismo modo, en zonas semiáridas de Kenia, el árbol nativo de rápido crecimiento *Melia volkensii* proporciona madera de alto valor y una serie de productos en condiciones de sequía.<sup>28</sup>

Muchos estudios indican que los hogares más pobres dependen más de los productos forestales para sus estrategias de superación y de adaptación. Por ejemplo, durante las inundaciones producidas por las crecidas de los ríos en Pacaya-Samiria, Perú, los hogares jóvenes y pobres que no tienen acceso a las tierras altas o que no están cerca a las concentraciones de peces se dedicaron a recolectar productos forestales no maderables (PFNM).<sup>15</sup> Los hogares de bajos ingresos recurrieron a los bosques en tiempos adversos porque la cosecha, en especial de los productos forestales no maderables, por lo general requiere poco capital financiero, físico o humano y es posible de realizar bajo sistemas de tenencia locales. Investigaciones en dos aldeas en las provincias de Cabo del Este y Limpopo, en Sudáfrica, revelaron que el 70 % de los hogares utilizaron los PFNM para ayudarse a hacer frente a las crisis, incluidas las climáticas, y que las familias más pobres dependieron más del uso o la venta de los PFNM.<sup>29</sup> En el sur de Malawi, los hogares de menores ingresos, o dirigidos por personas mayores y menos instruidas, dependían mucho más de los bosques para hacer frente a las sequías.<sup>30</sup> Después de un desastre en Honduras, las personas sin capital agrícola

dependieron en gran medida de los bosques.<sup>16</sup> Igualmente, en Indonesia, después de una inundación, los más afectados, los más pobres y con menor educación, dependieron más de los bosques para enfrentar la situación.<sup>31</sup>

Varios estudios relacionan la exclusión de los recursos forestales con la vulnerabilidad. Los aumentos de temperatura y las precipitaciones irregulares en la cima de la colina Endau, en Kenia, han llevado a la disminución de la producción, las malas cosechas y la escasez de agua, afectando gravemente a los agricultores y pastores que no tienen acceso a los productos forestales, como la madera, miel, hierbas, carne de monte, y forraje.<sup>32</sup> En muchas zonas costeras del sur y sudeste de Asia, ha aumentado la vulnerabilidad de las comunidades costeras pobres debido a la conversión de los bosques de manglar o porque se les niega el paso. Cuando los manglares son restaurados y accesibles, la gente tiene acceso a una mayor diversidad de productos (pescado, leña, madera, materiales de construcción, forraje, plantas medicinales y miel) y son más resistentes a las amenazas del clima, como se demostró en Vietnam,<sup>33-35</sup> Bangladesh,<sup>36</sup> y Filipinas.<sup>37</sup>

La mayoría de los estudios de caso proporcionan una clara evidencia, a partir de los sondeos de campo y entrevistas a hogares, para demostrar la importancia de los productos del bosque y de árboles, tanto para las estrategias de supervivencia a corto plazo de las comunidades locales pobres, como para la diversificación a largo plazo de los medios de vida de acuerdo con el cambio y la variabilidad del clima.

Los estudios de caso diferencian a los bosques ya sea como una herramienta de protección en las estrategias de resistencia, o como una fuente importante en la diversificación de los medios de vida para las estrategias de adaptación. Sin embargo, es difícil situar ciertas estrategias en la escala entre la resistencia y la adaptación. Muchas familias utilizan productos del bosque como parte de su sustento diario, lo cual a su vez disminuye su sensibilidad al clima, ya que los productos diversificados no se ven afectados de la misma manera o al mismo tiempo por los eventos climáticos.<sup>38</sup> Estos hogares también modifican su uso de los productos del bosque para afrontar acontecimientos específicos.

Una diferencia entre hacer frente y adaptarse radica en la acción anticipatoria como por ejemplo, el manejo o la restauración de los bosques para garantizar el suministro futuro de productos. En este contexto, la gobernanza es clave para entender por qué algunos ecosistemas son utilizados como herramientas de protección, sin mucha inversión en el manejo, y otros son manejados para asegurar medios de vida sostenibles y resilientes. Los derechos de propiedad y acceso bien definidos son componentes críticos de los sistemas de manejo locales.<sup>39,40</sup> Los derechos de propiedad colectiva o individual ofrecen incentivos para mantener las reservas de recursos a través del tiempo y reducir la vulnerabilidad de las personas que dependen de ellas.<sup>41</sup> Muchos autores han demostrado los



**Los bosques y árboles proveen bienes a las comunidades locales que enfrentan amenazas climáticas**

efectos positivos de estos derechos sobre los medios de vida (por ejemplo, las oportunidades económicas, la seguridad alimentaria y el capital social) y las condiciones ecológicas forestales.<sup>42-44</sup> Por el contrario, a veces se utiliza la introducción de árboles en tierras agrícolas como una estrategia para asegurar que los derechos de propiedad puedan ser transferibles a las generaciones futuras.<sup>27</sup>

La alta dependencia de los productos forestales para hacer frente a los fenómenos climáticos puede ser una fuente de vulnerabilidad cuando el ecosistema se degrada o es manejado de forma inadecuada, cuando surgen conflictos entre los diferentes usuarios del bosque, o cuando el acceso se restringe. Sin embargo, las situaciones de acceso abierto tampoco son deseables, ya que pueden conducir a la degradación de los recursos, con consecuencias para los usuarios.<sup>43</sup> Si las presiones del clima aumentan con el cambio climático, la extracción de gran cantidad de recursos, que puede ocurrir después de eventos climáticos repetidos, puede llevar a una escasez de productos forestales<sup>17,30</sup> y hacer que el uso de los productos forestales no sea sostenible. Por lo tanto, los sistemas de gobernanza deben ocuparse de las compensaciones entre el suministro de productos para las situaciones de estrés actuales y el manejo de los ecosistemas para el futuro. La gobernanza determinará cómo las estrategias de superación que utilizan los productos forestales para enfrentar situaciones de estrés se pueden transformar en estrategias adaptativas sostenibles, lo que garantizará la seguridad de los medios de vida durante el cambio climático.

En varios estudios de caso, el papel de los productos forestales no se limita al consumo local para la seguridad alimentaria, sino que incluye actividades comerciales. Un aumento en el acceso al mercado podría ofrecer oportunidades de diversificación para los productos que tradicionalmente se destinan solo para la subsistencia, con resultados positivos para los medios de vida y la resiliencia social.<sup>23</sup> Sin embargo, el acceso al mercado también puede conducir a la explotación intensiva y disminución de los recursos, particularmente de los productos de alto valor y de mayor demanda.<sup>45</sup> Las fluctuaciones de precios pueden crear vulnerabilidades adicionales, especialmente para las comunidades o los hogares especializados en algún producto.<sup>46</sup> Las estrategias basadas en el mercado deben ser tratadas con cautela, porque los intereses externos o las élites locales pueden quedarse con una parte desproporcionada de los beneficios de la venta de los productos forestales no maderables, una vez que su valor es reconocido, o una vez que el desarrollo de infraestructura facilite el acceso de los comerciantes a comunidades que antes eran remotas.<sup>46</sup>

Varios estudios de caso muestran que los más pobres muchas veces dependen en mayor medida de los productos forestales como estrategias para enfrentar y adaptarse. Pattanayak y Sills<sup>47</sup> explican esta dependencia de los bosques como una consecuencia de la falta de estrategias alternativas (p. ej. trabajar fuera de la finca, crear reservas de estabilización, o

cultivar en diferentes tierras), más que de la pobreza. Levang *et al.*<sup>48</sup> también reconocen la importancia de los productos forestales como una red de seguridad cuando no hay alternativas disponibles. Pero el depender de los recursos naturales como una red de seguridad puede ser una trampa para la pobreza, sobre todo cuando la disponibilidad de recursos es baja, la población que necesita las redes de seguridad es grande, y no hay otras alternativas.<sup>49</sup> Las políticas de adaptación o los proyectos que se centran sólo en la conservación de los recursos forestales podrían ser contraproducentes y más bien deberían desarrollar estrategias de diversificación como complemento al manejo forestal sostenible. Así, los bosques y sus redes de seguridad se convierten en parte de una cartera de actividades de adaptación.

## Caso 2: Árboles en campos agrícolas regulan el agua, el suelo y el microclima para una producción más resiliente

Los pequeños agricultores y la agricultura se ven amenazados por la variabilidad de la temperatura y la precipitación. Los árboles en los campos agrícolas pueden ayudar a mantener la producción bajo un clima variable y también pueden proteger los cultivos contra los fenómenos climáticos extremos.

La agroforestería (la combinación de árboles y arbustos con cultivos y/o ganado) es cada vez más reconocida como un método eficaz para reducir al mínimo los riesgos de producción durante la variabilidad y cambio climáticos.<sup>28</sup> Con sus sistemas de raíces profundas, los árboles son capaces de explorar el suelo en mayores profundidades para buscar agua y nutrientes, lo que es beneficioso para los cultivos en épocas de sequía. Su contribución al aumento de la porosidad del suelo, escorrentía reducida, y una mayor cobertura del suelo conduce a un aumento de la infiltración y retención de agua, y a la reducción del estrés hídrico durante las épocas de baja precipitación. Por otra parte, el exceso de agua se bombea fuera del suelo más rápidamente en parcelas agroforestales debido a su mayor tasa de evapotranspiración.<sup>28</sup>

Investigaciones en África muestran que los árboles fijadores de nitrógeno hacen que la agricultura sea más resiliente a la sequía debido al mejoramiento de nutrientes del suelo y a la infiltración de agua, especialmente en las tierras degradadas. En Malawi y Zambia, los rendimientos de la producción de maíz son mayores donde la agricultura de conservación se practica con *Faidherbia albida*, un árbol que pierde sus hojas a comienzos de la estación lluviosa, cuando los cultivos se establecen, y que vuelve a crecer sus hojas al final de la temporada de lluvias, limitando la competencia por luz, nutrientes o agua con los cultivos.<sup>22</sup> En Malawi, los agricultores que practican la agroforestería con *Faidherbia* y *Giricidia* han obtenido por lo menos rendimientos modestos durante las temporadas de sequía, mientras que los agricultores que no usan estas prácticas perdieron sus cosechas.<sup>22</sup> Los agricultores en el programa de Regeneración Natural Manejado por Agricultores (FMNR de sus siglas en inglés) de Níger afirman que los árboles como *Faidherbia* mejoran el rendimiento de sorgo y mijo, en parte debido a la reducción de la velocidad del viento y al aumento de la humedad del suelo.<sup>22,23</sup> Las sequías



recientes han tenido menos efectos negativos en las áreas FMNR que en otras regiones.<sup>50</sup>

Las especies fijadoras de nitrógeno son ampliamente utilizadas por las comunidades de regiones áridas en Rajasthan, India, para ayudar a asegurar la producción de granos cuando la lluvia es insuficiente.<sup>26</sup> En África del este y del sur, también se usan árboles fijadores de nitrógeno en barbechos para restaurar la fertilidad del suelo y la capacidad de retención del agua, lo que mejora el rendimiento del maíz en años secos.<sup>28</sup> Los beneficios de los sistemas agroforestales pueden ser mejorados significativamente a través de técnicas tradicionales de conservación de suelo y agua, como se ve en Burkina Faso, donde los agricultores que practican estas técnicas (p. ej. diques de piedra y fosos llenos de materia orgánica) encontraron más probabilidades de regenerar y proteger los árboles en sus campos.<sup>25</sup> Los árboles también se pueden utilizar en zonas irrigadas como en la cuenca del río Senegal, donde se podría aplicar agroforestería (p. ej., mijo con *Faidherbia albida*), donde el cultivo de arroz no es sostenible debido a la escasez de agua. Los árboles protegen a las parcelas irrigadas de la erosión del viento y el agua, regulan el microclima al disminuir la insolación y la evapotranspiración además de que el sistema agroforestal necesita menos agua que el arrozal.<sup>51</sup>

Los árboles pueden ser beneficiosos para los cultivos comerciales, como el café y el cacao. El café es sensible a las fluctuaciones del microclima. El rango de temperatura óptima para el café arábico es entre 18 y 21 °C.<sup>52</sup> Los árboles que dan sombra, por ejemplo, controlan la temperatura y las fluctuaciones de humedad, y también pueden dar protección contra el viento y las tormentas que defolian los arbustos de café.<sup>53</sup> Investigaciones sobre sistemas de café en Chiapas, México, evidenciaron que la sombra reduce las fluctuaciones de temperatura y humedad, y reduce la vulnerabilidad al estrés hídrico.<sup>54</sup> En Sulawesi, Indonesia, un estudio demostró que los sistemas de cacao a la sombra de los árboles de *Gliricidia* no se ven significativamente afectados por la sequía gracias a la sombra y la captación de agua de los árboles.<sup>55</sup>

Los estudios que se revisaron establecen que los árboles tienen el potencial de mejorar la fertilidad y la humedad del suelo, y el microclima en la agricultura, y hacer que la producción de cultivos sea más resiliente a la variabilidad del clima. Los estudios proporcionan evidencia a partir de mediciones biofísicas de campo, sondeos agronómicos y mediciones de rendimiento en diferentes sistemas agrícolas durante temporadas de lluvias y de sequía. El grado de eficacia de los árboles en el sostenimiento de la producción agrícola, sin embargo, varía según las regiones y tipos de cultivos debido a las diferencias en las propiedades del suelo, precipitación y otras características.<sup>22</sup>

Existen compensaciones entre los diferentes efectos de los árboles en la agricultura; por ejemplo, la cobertura arbórea densa protege los suelos, pero compite con los cultivos por la luz. Debido a las diversas interacciones entre árboles y



**Los árboles en los campos agrícolas regulan el agua, el suelo y el microclima para una producción más resiliente**

cultivos, es difícil concluir sobre la relación entre la cobertura de sombra y el rendimiento. El grado de compensación en que los efectos positivos de la cobertura de sombra se maximizan, es específico al contexto.<sup>53</sup> Otras compensaciones se producen entre el rendimiento de los cultivos y la resiliencia, pues los árboles pueden proteger los cultivos contra eventos climáticos, pero disminuir los rendimientos promedio en ausencia de perturbaciones climáticas. En un contexto de cambio climático, quedan dudas sobre cuáles son los sistemas agroforestales necesarios para la resiliencia frente a diferentes escenarios climáticos y las demandas de producción.<sup>28</sup> Sin embargo, el valor de los árboles para la agricultura es alto en entornos donde hay un alto riesgo climático (p. ej. en las tierras áridas) y en áreas de suelos poco fértiles y pocos insumos agrícolas (es decir, donde los fertilizantes químicos o el riego no pueden amortiguar la degradación del suelo y los eventos climáticos).<sup>22,23,26</sup>

Los beneficios de la agroforestería se han estudiado mucho, pero rara vez desde la perspectiva de la protección de la producción frente a la variabilidad climática. Los científicos recién han empezado a ver los ensayos en curso y a volver a analizar los resultados para ver qué se puede aprender sobre el funcionamiento de los diferentes sistemas en años excepcionales.<sup>28</sup> Las investigaciones multidisciplinarias sobre las compensaciones ecológicas y socioeconómicas de la agroforestería son escasas,<sup>56</sup> y más aún desde una perspectiva del cambio o la variabilidad del clima. En la mayoría de los casos, la resiliencia de los sistemas agrícolas está influenciada tanto por los productos (caso 1 de este artículo) como por los servicios arbóreos (este caso), por ello, el análisis de las diferentes especies de árboles o las opciones de manejo deben combinar ambos aspectos.

A pesar de los beneficios demostrados de los sistemas agroforestales, su expansión se ha visto limitada. Los gobiernos de muchos países tropicales han estado promoviendo la intensificación de la agricultura como un reemplazo de los sistemas agroforestales e itinerantes, con la suposición de que

mejoraría la seguridad alimentaria, aumentaría los ingresos de los agricultores y protegería a los bosques.<sup>53,57</sup> Sin embargo, la intensificación puede exacerbar la vulnerabilidad al cambio climático <sup>54</sup> y llevar a la deforestación.<sup>58</sup> Otros enfoques han sido propuestos en donde ocurre una intensificación agrícola en asociación con los árboles, con el objetivo de conservar los servicios ecosistémicos y aumentar los ingresos de los agricultores.<sup>56</sup> Esto se relaciona con el debate entre el destinar la tierra (donde en algunas áreas del paisaje se maximiza la producción agrícola y en otras se conservan los ecosistemas naturales) y el compartirla (donde se integra la conservación y la producción en paisajes heterogéneos). El enfoque de destinar la tierra hace hincapié en la optimización del paisaje, mientras que el de compartirla se centra en los sistemas acoplados humano-ecológicos. Decidir cuál es el enfoque adecuado depende del contexto social y biofísico.<sup>59</sup> En general, para garantizar la seguridad alimentaria en un clima cambiante se requerirá una adaptación a todos los niveles, desde los sistemas de producción y distribución, hasta las instituciones locales, regionales y globales relevantes.<sup>60</sup>

La agroforestería que tiene como propósito una mayor resiliencia a la variabilidad del clima funciona cuando es de bajo costo y lo suficientemente flexible para que las comunidades la puedan implementar, aprender unas de otras y difundir las innovaciones, como en el caso de FMNR.<sup>23,61</sup> Las políticas, los incentivos, y las instituciones de apoyo también son cruciales para la adopción de las prácticas agroforestales.<sup>62</sup> Por ejemplo, los sistemas de certificación y las primas del cacao y café cultivado en sombra, o los pagos por servicios ecosistémicos pueden fomentar la adopción de esquemas agroforestales.<sup>63</sup> Sin embargo, algunos mercados y subsidios ponen en desventaja a la agroforestería al apoyar demasiado la intensificación agrícola y las plantaciones de biocombustibles y madera.<sup>64</sup> Se pueden utilizar subsidios de forma creativa para promover sistemas basados en árboles—por ejemplo, mediante la vinculación de subsidios para fertilizantes con las inversiones agroforestales en las fincas con árboles fijadores de nitrógeno, como proponen Garrity *et al.*<sup>22</sup>

Otros factores también influyen en la adopción, tales como las características del hogar (por ejemplo, género), la intervención de los servicios de extensión, sistemas de tenencia, y la presión sobre los recursos de la tierra y los bosques.<sup>63</sup> Los derechos seguros a la tierra y los productos son cruciales para la adopción y mejora de la agroforestería.<sup>63,65</sup> En el caso del FMNR en Níger, el proceso de cambio se inició con la gobernanza, seguido por los cambios económicos y ecológicos que reforzaron los cambios en la gobernanza.<sup>50</sup> El estado inicial de la tenencia de árboles no ofreció ningún incentivo real para que las personas protegieran los árboles, porque el gobierno era dueño de todos los árboles.<sup>23</sup> El proyecto FMNR trabajó con las autoridades forestales locales para asegurar que las personas se beneficiaran al proteger los árboles, y la gente pudo finalmente tomar sus propias decisiones sobre cuándo y cómo usarlos. La capacitación de los campesinos como agentes activos del

cambio estimula la acción y la adaptabilidad a largo plazo.<sup>66</sup> Sin embargo, primero se deben centrar las acciones a favor de la agroforestería para establecer los acuerdos de apoyo institucionales (normas, organizaciones, e incentivos).<sup>62</sup>

### **Caso 3: Cuencas con cobertura de bosque regulan el agua y protegen los suelos reduciendo el impacto climático**

Los bosques influyen en la interceptación de lluvia, evapotranspiración, infiltración de agua y en la recarga de las aguas subterráneas. Contribuyen a regular los flujos basales durante las estaciones secas y los flujos máximos durante eventos de lluvia, los cuales son servicios de máxima importancia para la adaptación de las personas al cambio y a la variabilidad del clima. También estabilizan el suelo y previenen la erosión y los deslizamientos de tierra, reduciendo aún más los impactos negativos de estos riesgos (parcialmente relacionados con el clima) sobre la infraestructura, los asentamientos y los usuarios del agua.

En Flores, Indonesia, se ha visto que las cuencas tropicales con cobertura de bosque han aumentado el flujo basal (es decir, la proporción del flujo de la corriente que viene de las aguas subterráneas en ausencia de lluvias) y han reducido los impactos de la sequía en las comunidades agrarias río abajo.<sup>67</sup> Cuando hay lluvias irregulares, los hogares agrícolas en las proximidades de las cuencas hidrográficas forestadas tienen mayores beneficios que otros hogares.

Un proyecto de regeneración y plantación forestal en Bolivia ha mostrado una reducción en la vulnerabilidad a la lluvia irregular y a tormentas intensas de las comunidades de Khuluyo.<sup>21</sup> Las comunidades locales dependen de la irrigación para la agricultura además de que las tormentas frecuentes causan la erosión del suelo y deslizamientos de tierra. El fomento de la regeneración natural de los bosques ha mejorado el suministro



**Las cuencas hidrográficas boscosas regulan el agua y protegen los suelos reduciendo los impactos climáticos**

de agua durante los períodos de sequías prolongadas. La regeneración natural y las plantaciones forestales también han estabilizado las laderas y han reducido, así, la vulnerabilidad de los asentamientos y tierras agrícolas a la erosión y deslizamientos de tierra.

Las causas de los deslizamientos de tierra en Tailandia en 1988 estuvieron vinculadas a las lluvias torrenciales sin precedentes y la geomorfología de la pendiente así como a la deforestación y a la conversión de bosques.<sup>68</sup> Las cabeceras de ríos de montaña estaban cubiertas por bosques pero la expansión agrícola y la deforestación despejaron gran parte del bosque, sustituyéndolo por plantaciones de caucho en muchos lugares. Si bien las plantaciones de caucho son una fuente importante de ingresos para muchas comunidades, sus raíces poco profundas no son eficientes para mantener el amarre del suelo.

En Filipinas, la pérdida de vidas y daños económicos generalizados debido a los ciclones tropicales en 2004 se atribuyeron a la deforestación, entre otros factores.<sup>69</sup> Las fuertes lluvias causaron deslizamientos de tierra y flujos de escombros de las zonas montañosas, así como desbordamientos de ríos, rotura de presas e inundaciones. Los efectos se han agravado por la falta de bosques en las laderas y cuencas que pudieran retener el suelo y reducir los flujos máximos de inundación. Las inundaciones en las zonas bajas de Camerún también fueron atribuidas al cambio del uso de la tierra.<sup>69</sup>

La evidencia es escasa acerca del papel que desempeñan los servicios de regulación de las cuencas para la adaptación social al cambio y la variabilidad del clima, a pesar de que existe abundante literatura sobre la relación entre los bosques y el agua que puedan influir en las decisiones sobre ABE. Entre los artículos revisados, sólo uno explora la función hidrológica de los bosques en relación con una amenaza climática y utiliza modelos hidrológicos con datos sobre las corrientes de agua, precipitación, topografía, vegetación y suelos.<sup>67</sup>

Los estudios sobre la ABE o las medidas propuestas no deben basarse en las creencias convencionales como por ejemplo, la creencia de que los bosques naturales y los plantados aumentan el flujo total de agua, lo que contradice numerosos estudios sobre pequeñas cuencas pareadas que muestran lo contrario.<sup>70</sup> Varios autores han analizado las creencias convencionales y las han comparado con la evidencia científica.<sup>71-74</sup> Estas creencias están profundamente arraigadas en la percepción pública; por ejemplo, en América Central, más del 90 % de los encuestados percibe que los bosques aumentan el flujo de agua total.<sup>75</sup>

El efecto de los bosques en el flujo de las tormentas y las inundaciones es muy discutido. Aunque los bosques tienden a aumentar la infiltración y la evapotranspiración y pueden reducir el flujo de las tormentas, se cuestiona la evidencia sobre la reducción de las inundaciones por los bosques.<sup>76</sup> Según Bruijnzeel,<sup>72</sup> las altas precipitaciones no son reguladas por los

bosques cuando los suelos están húmedos. Sin embargo, los estudios de cuencas pareadas pueden estar sesgados, ya que no tienen en cuenta la frecuencia de las inundaciones.<sup>77</sup> Se ha demostrado que la cubierta forestal reduce esta frecuencia.<sup>78</sup> La investigación hidrológica sobre los vínculos entre los bosques y las inundaciones necesita ser revisada y aumentada,<sup>79</sup> sobre todo porque algunos planes de manejo de cuencas se basan en el manejo de bosques y árboles. Por ejemplo, luego del paso del huracán Mitch se propuso la plantación de árboles en América Central para la protección de las cuencas hidrográficas durante eventos climáticos extremos, sin mucha evidencia sobre los resultados esperados.<sup>74</sup> Sin embargo, a pesar de que el papel de los bosques en la prevención de inundaciones a gran escala es controvertido, su papel en la prevención de inundaciones medianas más frecuentes no debe ser pasado por alto.<sup>70</sup>

El efecto de los bosques en el flujo basal no se puede generalizar porque es el resultado de dos procesos contrarios: los bosques en general presentan una mayor transpiración (por lo tanto, un flujo basal menor) y una mayor infiltración (por consiguiente, mayor recarga acuífera del suelo y un mayor flujo basal) en comparación con los usos no forestales de la tierra.<sup>72</sup> Si los bosques aumentan la infiltración de agua en los suelos más de lo que aumentan la transpiración, en comparación con otros usos, contribuyen a la conservación de los flujos basales. Esto demuestra la importancia de considerar las propiedades del suelo y el manejo al comparar usos forestales y no forestales de la tierra.<sup>79</sup>

La cuestión de la escala es fundamental para determinar los efectos de los bosques sobre el agua.<sup>80</sup> Por ejemplo, los efectos de los bosques sobre los flujos de tormenta reducidos o el total de los flujos anuales son más claros en las cuencas pequeñas que en las grandes.<sup>70</sup> A escala regional, otros procesos tienen que ser considerados además de la infiltración, escorrentía y evapotranspiración (esta última se considera como una pérdida de agua para uso humano, cuando una perspectiva local o de la cuenca es adoptada). A escala regional y mundial, los bosques desempeñan un papel en el reciclaje de agua de lluvia y en la generación de flujos de vapor de agua atmosférico, pero este papel no se ha cuantificado bien. A pesar de que la evapotranspiración de los bosques reduce los flujos totales de agua en una cuenca, también devuelve agua a la atmósfera, lo que puede aumentar las precipitaciones en la región.<sup>80</sup> Los bosques también pueden actuar como una bomba de humedad atmosférica, atrayendo el aire húmedo de los océanos hacia las regiones del interior,<sup>81,82</sup> pero este papel de los bosques en los procesos hidrológicos a escala regional está en discusión.<sup>83</sup>

En cuanto a la erosión del suelo y deslizamientos de tierra, la literatura confirma que la erosión de la superficie es generalmente menor en los bosques, en comparación con otros usos del suelo, debido a la mayor protección del suelo y la menor escorrentía debajo de los bosques.<sup>84</sup> También se observa, en general, que los deslizamientos ocurren con

menos frecuencia en las zonas boscosas que en áreas no boscosas,<sup>85,86</sup> en particular porque los bosques aumentan la cohesión del suelo con su raíces.<sup>84</sup> Sin embargo, sigue habiendo incertidumbre sobre el papel de los bosques en la prevención de deslizamientos. Por ejemplo, después de los deslizamientos de tierra en 1988 en Tailandia, algunos estudios concluyeron que la ocurrencia de estos es independiente de la cobertura vegetal y que la intensidad de las lluvias superó la capacidad de las raíces en la estabilización de los suelos.<sup>84</sup> Así, los bosques pueden reducir los efectos del aumento de la intensidad de las lluvias en la erosión del suelo, pero pueden tener un rol menor en la reducción del riesgo de desastres.

Las incertidumbres y la falta de datos específicos a un contexto obstaculizan la promoción de medidas de la ABE en las cuencas hidrográficas, pero otro obstáculo importante está relacionado con externalidades. La mayoría de los problemas de manejo de cuencas hidrográficas (ya sea con un enfoque en los problemas relacionados con el clima o no) son problemas de externalidades, pues las decisiones de los actores que manejan la tierra y el agua río arriba afectan a otras partes interesadas río abajo. La ABE de cuenca debe, por lo tanto, desarrollar mecanismos de coordinación entre los usuarios y los que manejan el agua, así como los mecanismos de compensación para la distribución de los costos del manejo de cuencas. Por ejemplo, los costos de oportunidad vinculados a la conservación de bosques aguas arriba pueden ser compensados con los pagos por servicios ambientales.<sup>87</sup>

#### **Caso 4: Bosques protegen las zonas costeras de amenazas relacionadas con el clima**

Los bosques costeros, como los manglares, pueden proteger las zonas costeras de las tormentas tropicales, el aumento del nivel del mar, las inundaciones y la erosión debido a su capacidad para absorber y disipar la energía de las olas y estabilizar las tierras costeras.

Los servicios de protección de los manglares durante una tormenta se hicieron evidentes a raíz del ciclón de 1999 en Orissa, India. Las aldeas que estaban protegidas por manglares sufrieron menos pérdidas de vidas, propiedades y cosechas.<sup>88,89</sup> Las comunidades costeras de la isla de Nijhum Dwip en Bangladesh creen que los manglares restaurados los protegen contra los desastres naturales, además de proporcionar materias primas y de proteger los suelos.<sup>36</sup> En Filipinas, la población de la isla de Panay está dispuesta a proteger el ecosistema de manglares, ya que casi todos creen que proporciona servicios de protección contra tormentas, entre otros beneficios.<sup>37</sup>

Los bosques costeros también pueden ser eficaces en el control de la erosión. En Martinica, las Antillas, donde la mayoría de las playas están en riesgo de erosión, se realizó un análisis de las prácticas existentes de manejo costero y se hicieron mapas de la vulnerabilidad actual y proyectada, lo cual sugirió como estrategia de adaptación prioritaria la protección y



**Los bosques protegen zonas costeras de amenazas relacionadas con el clima**

rehabilitación de los manglares para el 15 % de las costas de Martinica.<sup>90</sup> En un análisis de los cambios de la zona costera en Zanzíbar, Tanzania, en los últimos 50 años se encontró que la erosión de playas se correlaciona con la disminución de la vegetación nativa.<sup>91</sup> Los bosques costeros previnieron la excesiva erosión mediante la estabilización de la arena de la playa, la absorción de energía de las olas, y jugando un papel en el desarrollo de la playa. Esto también fue reconocido por las comunidades de las zonas costeras y las partes interesadas que propusieron la plantación de árboles, arbustos y enredaderas como una medida prioritaria y segura para hacer frente a la erosión.<sup>91</sup>

En Vietnam, las valoraciones económicas mostraron que la plantación de manglares frente al mar en diques marinos reduce los costos de mantenimiento de tales defensas, pues los manglares disipan la energía destructiva del oleaje, estabilizan el fondo marino y su pendiente, y atrapan sedimento.<sup>33-35</sup> Los beneficios anuales de la restauración de manglares para la protección de diques fueron de \$ 70-130/ha/año, en dólares estadounidenses, dependiendo de la tasa de descuento; los beneficios de los productos fueron de \$ 700-1700/ha/año; y los costos de restauración fueron de \$ 170-310/ha/año. Estos beneficios de la restauración de manglares para la protección de diques incluyen sólo la reducción de los costos de mantenimiento y no los daños evitados.<sup>92</sup>

Se han proporcionado diferentes tipos de pruebas en este caso, como los modelos de correlación entre la cobertura de manglares y los impactos de tormentas,<sup>88</sup> la simulación de la función de amortiguamiento de los manglares,<sup>35</sup> y la valoración económica.<sup>33</sup> También se ha obtenido evidencia del análisis de la percepción de la comunidad.<sup>36,37</sup>

A pesar de las pruebas aportadas, es difícil determinar cuánta protección pueden proporcionar los manglares y cuáles son los factores que explican esta protección.<sup>93</sup> Algunos científicos han criticado el hecho de que gran parte de la evidencia sobre el papel protector de los manglares durante eventos extremos



sigue siendo anecdótica, descriptiva o teórica, sin que se aborden adecuadamente los posibles factores de confusión, como la topografía, batimetría de la costa cercana, distancia de la costa y los factores humanos, como las medidas de respuesta a emergencias.<sup>94-97</sup> Por tanto, es motivo de preocupación que los esfuerzos de adaptación puedan llevarse a cabo en las regiones costeras sin una buena comprensión de la dinámica litoral de cada zona en particular y de la protección de manglares.

Todavía no está claro cuánto bosque de manglar es necesario para reducir la vulnerabilidad de un área en particular, y cuáles son las características del ecosistema que determinan su función protectora. La extensión de los manglares requerida para la protección costera depende de la geomorfología y del riesgo de eventos extremos.<sup>95,98</sup> El ancho del bosque de manglar es particularmente importante para explicar su papel protector; sin embargo, la anchura mínima requerida para un área particular dependerá también de la estructura del manglar.<sup>99</sup> Los sistemas radicales y el diámetro de los troncos son importantes para la atenuación de las olas normales, pero es la configuración vertical de los manglares la que se hace más crítica durante los eventos de tormentas.<sup>99</sup> La diversidad de especies puede aumentar la protección, ya que los diferentes troncos y raíces crean diferentes niveles de rugosidad.<sup>98</sup>

El tipo de especie y la composición también son importantes para la resiliencia y recuperación de los manglares frente a perturbaciones, tales como eventos extremos, el aumento del nivel del mar, y las alteraciones en regímenes hidrológicos.<sup>98,100</sup> La resiliencia de los manglares es crucial para la sostenibilidad de su papel protector, ya que estos ecosistemas están expuestos al aumento del nivel del mar y a los cambios climáticos y pueden deteriorarse al punto en que ya no pueden proporcionar servicios.<sup>101,102</sup> En muchos contextos, proteger las barreras costeras de bosques existentes es más sostenible que replantar nuevos,<sup>96</sup> ya que las condiciones alteradas pueden hacer que la regeneración de los manglares o su restauración sea difícil.<sup>103</sup>

Los bosques costeros pueden proporcionar cierta protección contra tormentas y ciclones, pero deben ser considerados como parte de una estrategia de adaptación y reducción de riesgos a desastres más amplia, sobre todo porque no pueden garantizar una protección total en caso de un evento extremo.<sup>93,104</sup> Sin embargo, hay una mayor confianza en la capacidad de los bosques costeros para estabilizar la erosión causada por la subida del nivel del mar y a las inundaciones por la marea alta.

## Caso 5: Bosques y árboles urbanos regulan la temperatura y el agua en ciudades resilientes

Los bosques y árboles urbanos pueden proporcionar sombra, enfriamiento por evaporación, interceptación del agua de lluvia, almacenamiento y servicios de infiltración en las ciudades. Ellos pueden jugar un papel importante en la adaptación urbana al cambio y la variabilidad del clima.

Debido a las superficies alteradas, donde las áreas construidas han reemplazado a la vegetación,<sup>105</sup> las áreas urbanas enfrentan mayores tasas y volúmenes de escorrentía superficial y de impactos de islas de calor urbano (ICU). Se ha demostrado que la adición de una cubierta verde en Manchester, Reino Unido, tiene el potencial para reducir la escorrentía durante los eventos de lluvias.<sup>105</sup>

Las ICU se deben a las superficies urbanas, tales como concreto, ladrillo, asfalto y piedra que absorben la radiación solar de onda corta y la vuelven a emitir como radiación de onda larga. En Nueva Jersey, EE.UU., se ha demostrado que los árboles urbanos reducen los impactos en la salud causados por las ICU (resultado del estrés por el calor y la contaminación del aire), y que también reducen el consumo de energía en el uso de aire acondicionado.<sup>106</sup> Los árboles grandes y maduros tienden a ser particularmente eficaces, ya que proporcionan una mayor cobertura y área sombreada. Las áreas bajo copas de árboles maduros pueden ser entre 2,7 y 3,3 °C más frías que las zonas sin árboles.<sup>106</sup>

La cobertura vegetal parece influir fuertemente en las temperaturas superficiales en Manchester, Reino Unido. La temperatura máxima de la superficie en los bosques urbanos es de 18,4 °C, mientras que en los centros urbanos con la menor cobertura arbórea es de 31,2 °C. Una adición de un 10 % de cobertura vegetal en los centros urbanos podría reducir las temperaturas superficiales máximas en 2,2 °C. Las proyecciones indican para la década de 2080 un aumento en las temperaturas superficiales máximas de 1,5 – 3,2 °C en los bosques, y de 2 – 4,3 °C en el centro de las ciudades, dependiendo del escenario de las emisiones.<sup>105</sup>



**Los bosques urbanos y árboles regulan la temperatura y el agua para ciudades resilientes**

En Tahoua y Zinder, en Níger, se demostró que los bosques y árboles minimizan los impactos climáticos adversos en áreas urbanas a través de la regulación del microclima y del agua de tormentas.<sup>107</sup> En otro estudio, se observaron temperaturas más altas en las zonas comerciales e industriales de Enugu, Nigeria, que en áreas con bosques.<sup>108</sup>

Los pocos estudios sobre el papel de los bosques y los árboles en la adaptación urbana a la variabilidad y el cambio climático en los países desarrollados están bien fundamentados, con modelos basados en fotografías aéreas y sensores remotos, datos climáticos y de uso de la tierra, y modelos hidráulicos y de intercambio de energía. Sin embargo, la investigación sobre este tema en los países en desarrollo se encuentra todavía en etapa de desarrollo, por lo tanto, la evidencia sigue siendo limitada.<sup>109</sup> Del mismo modo, los estudios sobre servicios ecosistémicos urbanos en general también se han centrado mayormente en países desarrollados.<sup>110</sup> El rápido crecimiento de las ciudades en muchos países en desarrollo hace necesario que se considere la adaptación al cambio climático en la planificación del uso de la tierra en las zonas urbanas y que se evalúen los beneficios de los ecosistemas. Esto debe tener en cuenta desafíos de adaptación particulares, relacionados con la falta de infraestructura “gris” (p. ej. desagües), la destrucción a gran escala de infraestructura “verde” (p. ej. los humedales) y los problemas de capacidad relacionados con la pobreza, la gobernanza local deficiente, y las grandes concentraciones de personas en zonas de alto riesgo, tales como barriadas.<sup>107,111</sup>

Los árboles generalmente son una mejor opción que los pastizales para reducir la temperatura y la escorrentía debido a que son menos sensibles a la sequía. Sin embargo, no pueden actuar como una solución independiente contra los impactos de las inundaciones, y se necesitarían otras medidas, como los techos verdes.<sup>105</sup> La ABE propuesta para las ciudades trata mayormente con el desarrollo de árboles y parques urbanos para reducir las ICU o las inundaciones. Por ejemplo, se propone un aumento del 50 % en la cobertura arbórea para Enugu, Nigeria, como una forma de reducir las ICU.<sup>108</sup> Sin embargo, la ABE para las ciudades también debe considerar otras escalas e incluir el manejo forestal fuera de las zonas urbanas, en las cuencas hidrográficas (Caso 3) y zonas costeras (Caso 4). Los servicios ecosistémicos de las zonas rurales circundantes pueden afectar significativamente el bienestar urbano, lo que indica la necesidad de pensar en sistemas paisajísticos rurales y urbanos más amplios.<sup>112</sup> Las redes ecológicas podrían aumentar los beneficios generales de la ABE en las ciudades. En Beijing, por ejemplo, se ha propuesto un sistema verde en tres niveles: región (áreas de bosques naturales y seminaturales y cinturones de amortiguamiento), ciudad (parques y corredores verdes) y barrio (extensiones verdes, sistema vial con áreas verdes, y vegetación vertical).<sup>113</sup>

La introducción de medidas de ABE dentro de las ciudades plantea inquietudes acerca de las compensaciones relacionadas con el manejo de árboles y bosques. Las áreas verdes urbanas

pueden desviar los recursos naturales destinados a otros usos: por ejemplo, se puede necesitar el agua para los árboles, en detrimento de las necesidades de otros usuarios durante el racionamiento de agua en épocas de sequía.<sup>105</sup> Otras preocupaciones importantes se relacionan con los costos de oportunidad, debido a los beneficios económicos dejados de percibir de la expansión urbana.<sup>114</sup> Los costos asociados a los bosques urbanos han sido generalmente descuidados, tanto en la ciencia como en la planificación urbana.<sup>115</sup> Muchas plantaciones de árboles, proyectadas en escenarios óptimos de planificación urbana del uso de la tierra, están en propiedad privada, incurriendo en costos para los propietarios.<sup>106</sup> Los barrios menos afluentes de los centros de ciudades tienen pocos espacios libres y pocos fondos para la plantación de árboles.

La experiencia con el Programa de Protección del Clima del Municipio de Durban indica que lograr la ABE en las ciudades implica ir más allá de la solución común, de los árboles en las calles y los parques, para ir hacia un entendimiento más profundo de la ecología y resiliencia del ecosistema, y el potencial de la ‘bioinfraestructura’ para mejorar el bienestar de las comunidades vulnerables en múltiples niveles.<sup>111</sup> La experiencia en Durban muestra que mientras la ABE puede tener múltiples beneficios a largo plazo, estos solo se pueden realizar si se dan una serie de condiciones previas, tales como el desarrollo de programas estructurados y con recursos, que tienen cobeneficios directos e inmediatos para las comunidades locales. Todos los gobiernos locales deben apoyar la ABE, ya que las ciudades se ven afectadas por las decisiones y la gestión en los municipios aguas arriba y circundantes. Sin embargo, lamentablemente las decisiones se basan muchas veces en objetivos de manejo individuales, que pueden llevar a conflictos entre los diferentes grupos de actores urbanos.<sup>115</sup>

## Discusión

Existe evidencia sustancial de que los ecosistemas de bosque y de árboles pueden reducir la vulnerabilidad social frente al cambio y la variabilidad climáticos. En el Caso 1, los bosques proporcionan importantes redes de seguridad, diversificación de los medios de vida y fuentes de ingresos integrales para muchas comunidades rurales, por lo que productos del bosque y de los árboles son importantes para la adaptación de estos grupos. Sin embargo, la sostenibilidad de las estrategias basadas en los bosques es cuestionable en situaciones donde los productos se utilizan para hacer frente a impactos de corto plazo, sin objetivos a largo plazo para manejar los bosques y árboles. Otro problema es que los productos forestales son utilizados con frecuencia por los más pobres porque no tienen alternativas, lo que significa que una estrategia de adaptación basada solo en los productos puede ser una trampa que da continuidad a la pobreza.

En cuanto al Caso 2, existen pruebas claras de la capacidad de los árboles y predios forestales para regenerar tierras

degradadas, proteger la producción agrícola de los riesgos climáticos y mejorar la eficiencia de uso del agua. Muchas brechas de conocimiento se relacionan con el equilibrio de las ventajas y desventajas entre la producción y la resiliencia, y los niveles de complejidad del agro-ecosistema necesarios para alcanzar la resiliencia. Los servicios de los bosques en las cuencas son importantes para la adaptación social, como se muestra en el Caso 3, pero es difícil de medir y evaluar su eficacia, en particular debido a los procesos complejos y a las diferentes escalas espaciales involucradas. Un número limitado de estudios proporciona evidencia que vincula los paisajes forestales con una vulnerabilidad climática reducida. A pesar de que todavía necesitan ser resueltas una serie de controversias, la importancia de los servicios hidrológicos forestales para el bienestar humano no debe ser ignorada.

También existen controversias en el Caso 4 con respecto a la función protectora de los manglares durante tormentas extremas. No obstante, los manglares pueden ser muy eficaces en la amortiguación de los asentamientos costeros contra los impactos de ciclones de menor grado, tifones, inundaciones costeras, erosión y la elevación del nivel del mar. Sigue habiendo incertidumbre sobre las características de los ecosistemas en la determinación de su función protectora contra los diferentes tipos de riesgos. En el Caso 5, existen pruebas claras de la capacidad de los árboles y predios forestales para regular el microclima en las zonas urbanas. Los principales problemas se relacionan con los costos de oportunidad y viabilidad: la suposición de que la ABE ofrece un enfoque sencillo para la adaptación puede ser engañosa, como mostró la experiencia en Durban.

La búsqueda bibliográfica no fue limitada geográficamente, sin embargo, la mayoría de los artículos encontrados trataron de países en desarrollo, con la excepción del Caso 5 (zonas urbanas). Una razón podría ser que el enfoque del presente estudio fue en la vulnerabilidad y la adaptación a amenazas climáticas, y los países en desarrollo son generalmente considerados como los más vulnerables,<sup>116,117</sup> a pesar de su experiencia en tratar con riesgos relacionados al clima.<sup>118</sup> Otra razón podría estar relacionada con la decisión que se tomó de solo analizar bosques y árboles. Por ejemplo, se encontraron algunos estudios sobre el manejo de ecosistemas costeros y la reducción de la vulnerabilidad en Canadá, los EE.UU. y el Reino Unido,<sup>119-121</sup> pero que trataban sobre esteros salinos o ciénagas en lugar de bosques. La presencia de bosques de manglares en los trópicos ha puesto, así, énfasis en los países tropicales. Una tercera razón es que la riqueza y la tecnología de los países más ricos puede haberles permitido sustituir los servicios de ingeniería por los servicios ecosistémicos.<sup>122</sup> Por ejemplo, la degradación de los servicios de regulación del agua se ha visto compensada por mejores fuentes de agua, plantas de tratamiento de agua o riego, e infraestructura de control de inundaciones. Del mismo modo, la pérdida de los servicios ecosistémicos que benefician a la agricultura ha sido compensada con un mayor uso de fertilizantes

químicos y pesticidas.<sup>122,123</sup> En este contexto, la adaptación al cambio climático en los países desarrollados se vincula a los servicios ambientales con menos frecuencia que en los países en desarrollo.

Esta revisión muestra que la eficacia de los servicios ecosistémicos en reducir la vulnerabilidad al clima está influenciada por características, tales como la topografía, la geología, los suelos, la diversidad y estructura de los ecosistemas, y el clima. Por consiguiente, una estrategia de ABE que es eficaz en una región puede no serlo en otra. En cualquier proyecto que considere la ABE también es necesaria una cuidadosa selección de las especies de árboles, y se deben considerar las características del lugar y el tipo de servicio ecosistémico, a priorizar bajo condiciones climáticas específicas. La extensión y la ubicación de los ecosistemas restaurados o conservados, así como su estructura y composición, influyen en su eficacia para reducir riesgos, por ejemplo, la ubicación de los bosques en una cuenca hidrográfica (Caso 3) o la estructura de los manglares (Caso 4).

Los artículos revisados también destacan que la viabilidad de las estrategias de ABE depende de una variedad de factores socioeconómicos y de gobernanza que deben tenerse en cuenta durante la planificación de acciones de adaptación. La participación y el compromiso de la comunidad son los aspectos clave que deben tenerse en cuenta para el éxito de cualquier programa de ABE.<sup>21,23,37</sup> Las iniciativas de adaptación no solo deben concentrarse en el rendimiento ecológico de las medidas, sino también en los beneficios económicos que se pueden obtener con las condiciones adecuadas.<sup>17,21,23,30</sup> También serán necesarias la educación, la capacitación, y los servicios de extensión, entre otras intervenciones, para pasar de las estrategias de superación a corto plazo centradas en la extracción de recursos, al manejo de ecosistemas y la adaptación, en particular para los Casos 1 (productos)<sup>15,17,21,24,30</sup> y 2 (agricultura).<sup>22,23,28</sup> Otra condición necesaria es asegurar que los derechos de propiedad y acceso estén bien definidos, lo cual puede hacer la diferencia entre las estrategias extractivas de superación a corto plazo y el manejo sostenible de los ecosistemas para la adaptación.<sup>23,24,34,37</sup> Dado que la adaptación al cambio climático requiere acciones tanto a corto como a largo plazo, se necesitan instituciones y políticas para mejorar el manejo sostenible de los bosques, para sus funciones de regulación y de suministro. Esta revisión reconoce que los factores socioeconómicos y de gobernanza influyen de manera crítica en el manejo de los ecosistemas forestales para aumentar la eficacia de la ABE. Un debate en profundidad sobre los factores socioeconómicos y de gobernanza de la ABE podría ser el tema de otro artículo de revisión.

Muchos estudios evalúan o mencionan los múltiples beneficios de los ecosistemas para la adaptación y el bienestar humano. Por ejemplo, los estudios sobre el papel protector de los manglares también consideran los beneficios económicos para los medios de vida basados en la pesca, la miel, la madera y la producción

de carbón, entre otros.<sup>33,34</sup> En el manejo costero integral, los ecosistemas no son considerados simplemente como 'bioescudos', sino que son valorados por el conjunto de los servicios ambientales que prestan. En términos más generales, el Caso 1 (productos) con frecuencia es relevante en relación con otros casos en los contextos rurales, por ejemplo, el Caso 2 (agricultura), 3 (cuencas) o 4 (costas). El Caso 5 (ciudades) también puede estar asociado con los Casos 3 (cuenca) y 4 (costas), ya que las ciudades dependen de los bosques que se encuentran aguas arriba, o algunas en ecosistemas costeros.

Sin embargo, es importante considerar que también pueden ocurrir compensaciones entre servicios ecosistémicos. Por ejemplo, un proyecto de reforestación destinado a reducir los riesgos de deslizamientos o de desastres costeros a través de plantaciones monoespecíficas o de especies exóticas puede ofrecer pocos productos para las comunidades locales. Por el contrario, algunas especies de árboles resistentes al clima que se pueden utilizar para la diversificación con retornos rápidos (p. ej. *Eucalyptus*), podrían afectar la disponibilidad de agua para la población. Las plantaciones exóticas de *Casuarina*, una especie de uso frecuente en las zonas costeras que va en detrimento de las especies locales, crean preocupaciones sobre la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos.<sup>96</sup> Por otra parte, los diferentes actores pueden percibir distintos beneficios de los mismos servicios ecosistémicos, que pueden ser complementarios, pero también competitivos.<sup>124</sup> Con frecuencia también ocurren ventajas y desventajas entre las distintas escalas espaciales, por ejemplo, aún si la conservación del bosque para protección de cuencas reduce la vulnerabilidad de las poblaciones aguas abajo, puede aumentar la vulnerabilidad de las comunidades aguas arriba, al restringir el acceso a la tierra y los bosques.

Otros aspectos que deben tenerse en cuenta en las decisiones de adaptación incluyen la rentabilidad, los beneficios colaterales, y la viabilidad. Los bosques y los árboles a menudo pueden proporcionar beneficios en lo que respecta a varios de estos casos, así como los beneficios colaterales en términos de biodiversidad, la mitigación del cambio climático, u otros servicios ecosistémicos, como la recreación en las ciudades. Las medidas de la ABE pueden ser más flexibles que las propuestas de adaptación basadas en la infraestructura. Las decisiones sobre la ABE deben tener en cuenta estos aspectos múltiples, a pesar de las incertidumbres.

La ABE debe llevarse a cabo como parte de una cartera de adaptación en lugar de un objetivo único. Por ejemplo, el uso de productos forestales es importante para la diversificación de los medios de vida, pero no como una estrategia independiente. En el caso de las defensas costeras, ya que los manglares no protegen totalmente contra cualquier evento extremo, la adaptación al cambio climático o los planes para reducir los riesgos de desastres también se deben incluir sistemas de alerta o de preparación para desastres, por ejemplo. También pueden haber límites a la ABE en otros casos. La

reducción del riesgo al deslizamiento de tierras a través de la reforestación de laderas muy empinadas es casi imposible de conseguir, y otras medidas, incluyendo la reubicación de los asentamientos, tendrán que ser consideradas. La ABE también puede complementar a las soluciones de ingeniería, tales como diques costeros (la infraestructura gris) apoyados por los manglares (la infraestructura verde).

## Conclusiones

Se revisó la literatura científica relacionada con la ABE con bosques y árboles y se distinguieron cinco casos en que los bosques y los árboles pueden apoyar la adaptación de las comunidades locales, y la sociedad en general, al cambio y la variabilidad climáticos: (1) Bosques y árboles que suministran bienes a las comunidades locales que enfrentan amenazas del clima, (2) Árboles en campos agrícolas que regulan el agua, el suelo y el microclima para una producción más resiliente, (3) Cuencas hidrográficas con bosques que regulan el agua y protegen los suelos, reduciendo los impactos climáticos, (4) Bosques que protegen las zonas costeras de amenazas relacionadas con el clima, y (5) Bosques y árboles urbanos que regulan la temperatura y el agua en ciudades resilientes. La literatura proporciona pruebas de que la ABE con bosques y árboles puede reducir la vulnerabilidad social a los desastres climáticos, pero quedan incertidumbres y vacíos de conocimiento, sobre todo para los servicios de regulación en las cuencas hidrográficas y las zonas costeras.

La revisión muestra que hay un número limitado de estudios relacionados específicamente con los servicios ecosistémicos y la vulnerabilidad humana al cambio y la variabilidad climáticos. Sin embargo, se puede usar abundante literatura sobre los servicios ecosistémicos para llenar los vacíos de conocimiento sobre la ABE. Por ejemplo, se mostró en el Caso 3 (cuencas hidrográficas) que los estudios hidrológicos proporcionan información útil sobre el papel de los servicios forestales en las cuencas, a pesar de que no tratan sobre la variabilidad y el cambio climáticos. Lo mismo se puede decir de los estudios sobre productos forestales y medios de vida (Caso 1), los árboles y la agricultura (Caso 2), o los manglares y los tsunamis (Caso 4). Además, si bien la mayoría de los artículos revisados trataron sobre la variabilidad climática actual y no sobre el cambio climático, sus resultados son útiles en cuanto a la perspectiva de la adaptación al cambio climático.

Es necesario entender mejor la eficacia, los costos y beneficios y las compensaciones de la ABE con bosques y árboles. No solo se necesita de conocimiento científico sobre la ABE (p. ej. llenar los vacíos de conocimientos relacionados con las funciones del ecosistema), sino también probar y evaluar diferentes intervenciones. Los proyectos piloto en ejecución pueden servir como sitios de aprendizaje y la información existente puede ser sistematizada y revisada bajo una lente de adaptación al cambio climático. El manejo adaptable y 'aprender haciendo', son componentes esenciales de las estrategias de ABE, donde



el monitoreo eficiente y los sistemas de evaluación son fundamentales.

La combinación de los sistemas de monitoreo de diferentes escalas (local, paisaje, regional) ofrecerá una amplia información sobre las reacciones y la dinámica de los sistemas socioecológicos. La participación de los actores y, en especial, de los beneficiarios de los servicios ecosistémicos en el proceso de monitoreo mejorará la capacidad general de adaptación, los incentivos para aprender, y el suministro de alertas tempranas relacionadas con el cambio medioambiental. El principal desafío consiste en crear las condiciones y procesos que permitan la innovación, la flexibilidad y el aprendizaje creciente e iterativo.

## Referencias

1. Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE, eds. *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, Reino Unido; 2007.
2. Adger WN, Barnett J. Four reasons for concern about adaptation to climate change. *Environ Plann* 2009, 41:2800–2805.
3. Locatelli B, Kanninen M, Brockhaus M, Colfer CJP, Murdiyarso D, Santoso H. *Facing an Uncertain Future: How Forest and People Can Adapt to Climate Change*. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional; 2008.
4. Vignola R, Locatelli B, Martínez C, Imbach P. Ecosystem-based adaptation to climate change: what role for policy-makers, society and scientists? *Mitig Adapt Strat Glob Change* 2009, 14:691–696.
5. Reid W, Mooney HA, Cropper A, Capistrano D, Carpenter SR, Chopra K, Dasgupta P, Dietz T, Duraipapp AK, Hassan R, et al. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis Report. Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC: Island Press; 2005.
6. Andrade Pérez A., Herrera Fernández B, Cazzolla Gatti R. *Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-Based Adaptation and Lessons from the Field*. Gland, Suiza: IUCN; 2010.
7. Secretaría de la Convención sobre Diversidad Biológica. *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Convención sobre Diversidad Biológica, Montreal; 2009.
8. Secretaría de la Convención sobre Diversidad Biológica. *Value and Benefits from Integrating Biodiversity within Climate Change Adaptation*. Helsinki, Finlandia: Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP); 2009.
9. Colls A, Ash N, Ikkala N. *Ecosystem-Based Adaptation: A Natural Response to Climate Change*. Gland, Switzerland: IUCN; 2009, 1–16.
10. Heath M, Phillips J, Munroe R, Langley N. *Partners with nature: how healthy ecosystems are helping the world's most vulnerable adapt to climate change*. Cambridge, Reino Unido: Birdlife International; 2009, 1–20.
11. Sukhdev P, Bishop J, Ten Brink P, Gundimeda H, Karousakis K, Kumar P, Neßhöver C, Neuville A, Skinner D, Vakrou A, et al. *TEEB Climate Issues Update September 2009, The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), 2009, 1–34.
12. El Banco Mundial. *Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-Based Approaches to Climate Change*. Washington, DC: El Banco Mundial; 2009.
13. Pramova E, Locatelli B, Brockhaus M, Fohlmeister S. Ecosystem services in the national adaptation programmes of action. *Climate Policy* 2012, 1–17. doi:10.1080/14693062.14692011.14647848.
14. Enfors EI, Gordon LJ. Dealing with drought: The challenge of using water system technologies to break dryland poverty traps. *Glob Environ Change* 2008, 18:607–616.
15. Takasaki Y, Barham BL, Coomes OT. Risk coping strategies in tropical forests: floods, illnesses, and resource extraction. *Environ Dev Econ* 2004, 9:203–224.
16. McSweeney K. Natural insurance, forest access, and compounded misfortune: forest resources in smallholder coping strategies before and after Hurricane Mitch, eastern Honduras. *World Dev* 2005, 33:1453–1471.
17. Paavola J. Livelihoods, vulnerability and adaptation to climate change in Morogoro, Tanzania. *Environ Sci Policy* 2008, 11:642–654.
18. Bele M, Somorin O, Sonwa D, Nkem J, Locatelli B. Forests and climate change adaptation policies in Cameroon. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 2011, 16:369–385.
19. Brown HCP, Nkem JN, Sonwa DJ, Bele Y. Institutional adaptive capacity and climate change response in the Congo Basin forests of Cameroon. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 2010, 15:263–282.
20. Nkem J, Kalame FB, Idinoba M, Somorin OA, Ndoye O, Awono A. Shaping forest safety nets with markets: adaptation to climate change under changing roles of tropical forests in Congo Basin. *Environ Sci Policy* 2010, 13:498–508.
21. Robledo C, Fischler M, Patino A. Increasing the resilience of hillside communities in Bolivia: has vulnerability to climate change been reduced as a result of previous sustainable development cooperation? *Mount Res Dev* 2004, 24:14–18.
22. Garrity DP, Akinnifesi FK, Ajayi OC, Weldesemayat SG, Mowo JG, Kalinganire A, Larwanou M, Bayala J. Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Secur* 2010, 2:197–214.
23. Tougiani A, Guero C, Rinaudo T. Community mobilization for improved livelihoods through tree crop management in Niger. *GeoJournal* 2009, 74:377–389.
24. Djoudi H, Brockhaus M, Locatelli B. Once there was a lake: vulnerability to environmental changes in northern Mali. *Reg Environ Change* 2012, 1–16. doi:10.1007/s10113-10011-10262-10115.
25. Sawadogo H. Using soil and water conservation techniques to rehabilitate degraded lands in northwestern Burkina Faso. *Int J Agric Sust* 2011, 9:120–128.
26. Rathore JS. Drought and household coping strategies: a case of Rajasthan. *Ind J Agric Econ* 2004, 59:689–708.
27. Rahman S, Imam M, Snelder D, Sunderland T. Agroforestry for livelihood security in Agrarian landscapes of the Padma floodplain in Bangladesh. *Small-Scale Forest* 2012, 1–10. doi:10.1007/s11842-012-9198-y.
28. Verchot LV, Van Noordwijk M, Kandji S, Tomich T, Ong C, Albrecht A, Mackensen J, Bantilan C, Anupama K, Palm C. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 2007, 12:901–918.
29. Paumgarten F, Shackleton CM. The role of nontimber forest products in household coping strategies in South Africa: the influence of household wealth and gender. *Popul Environ* 2011, 33:108–131.
30. Fisher M, Chaudhury M, McCusker B. Do forests help rural households adapt to climate variability? Evidence from Southern Malawi. *World Dev* 2010, 38:1241–1250.
31. Liswanti N, Sheil D, Basuki I, Padmanaba M, Mulcahy G. Falling back on forests: how forest-dwelling people cope with catastrophe in a changing landscape. *Int Forest Rev* 2011, 13:442–455.

32. Owuor B, Mauta W, Eriksen S. Adapting to climate change in a dryland mountain environment in Kenya. *Mount Res Dev* 2005, 25:310–315.
33. Adger WN, Kelly PM, Tri NH. Valuing the products and services of mangrove restoration. *Commonw Forest Rev* 1997, 76:198–202.
34. Kelly PM, Adger WN. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Clim Change* 2000, 47:325–352.
35. Tri NH, Adger WN, Kelly PM. Natural resource management in mitigating climate impacts: the example of mangrove restoration in Vietnam. *Glob Environ Change* 1998, 8:49–61.
36. Iftekhhar MS, Takama T. Perceptions of biodiversity, environmental services, and conservation of planted mangroves: a case study on Nijhum Dwip Island, Bangladesh. *Wetl Ecol Manag* 2008, 16:119–137.
37. Walton MEM, Samonte-Tan GPB, Primavera JH, Edwards-Jones G, Le Vay L. Are mangroves worth replanting? The direct economic benefits of a community-based reforestation project. *Environ Conserv* 2006, 33:335–343.
38. Innes JL, Hickey GM. The importance of climate change when considering the role of forests in the alleviation of poverty. *Int Forest Rev* 2006, 8:406–416.
39. Elinor O. *Understanding institutional diversity*. Princeton, NJ: Princeton University Press; 2005.
40. Mutenje M, Ortmann G, Ferrer S. Management of non-timber forestry products extraction: local institutions, ecological knowledge and market structure in South-Eastern Zimbabwe. *Ecol Econ* 2011, 70: 454–461.
41. Coleman EA. Common property rights, adaptive capacity, and response to forest disturbance. *Glob Environ Change* 2011, 21:855–865.
42. Assembe Mvondo SA. Forestry income management and poverty reduction: empirical findings from Kongo, Cameroon. *Dev Pract* 2006, 16:68–73.
43. Berkes F. Community-based conservation in a globalized world. *Proc Natl Acad Sci USA* 2007, 104: 15188–15193.
44. Chhatre A, Agrawal A. Trade-offs and synergies between carbon storage and livelihood benefits from forest commons. *Proc Natl Acad Sci USA* 2009, 106: 17667–17670.
45. Belcher B, Schreckenberg K. Commercialisation of non-timber forest products: a reality check. *Dev Policy Rev* 2007, 25:355–377.
46. O'Brien K, Leichenko R, Kelkar U, Venema H, Aandahl G, Tompkins H, Javed A, Bhadwal S, Barg S, Nygaard L, et al. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Glob Environ Change* 2004, 14(Pt A):303–313.
47. Pattanayak SK, Sills EO. Do tropical forests provide natural insurance? The microeconomics of non-timber forest product collection in the Brazilian Amazon. *Land Econ* 2001, 77:595–612.
48. Levang P, Dounias E, Sitorus S. Out of the forests, out of poverty? *Forests Trees Livelihoods* 2005, 15: 211–235.
49. Delacote P. Commons as insurance: safety nets or poverty traps? *Environ Dev Econ* 2009, 14:305–322.
50. Sendzimir J, Reij CP, Magnuszewski P. Rebuilding resilience in the Sahel: greening in the Maradi and Zinder regions of Niger. *Ecol Soc* 2011, 1–29. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04198-160301>.
51. Venema HD, Schiller EJ, Bass B. Factor biases and promoting sustainable development: adaptation to drought in the Senegal River Basin. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 1996, 1:139–165.
52. Lin BB. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agric Forest Meteorol* 2007, 144:85–94.
53. Lin BB, Perfecto I, Vandermeer J. Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. *Bioscience* 2008, 58:847–854.
54. Lin BB. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agric Forest Meteorol* 2010, 150:510–518.
55. Schwendenmann I, Veldkamp E, Moser G, Hölscher D, Köhler M, Clough Y, Anas I, Djajakirana G, Erasmí S, Hertel D. Effects of an experimental drought on the functioning of a cacao agroforestry system, Sulawesi, Indonesia. *Glob Change Biol* 2010, 16:1515–1530.
56. Steffan-Dewenter I, Kessler M, Barkmann J, Bos MM, Buchori D, Erasmí S, Faust H, Gerold G, Glenk K, Gradstein SR. Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proc Natl Acad Sci USA* 2007, 104:4973–4978.
57. van Vliet N, Mertz O, Heinemann A, Langanke T, Pascual U, Schmook B, Adams C, Schmidt-Vogt D, Messerli P, Leisz S. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest/agriculture frontiers: a global assessment. *Glob Environ Change* 2012. doi:10.1016/j.gloenvcha.2011. 10.009.
58. Morton D, Defries R, Randerson J, Giglio L, Schroeder W, Van Der Werf G. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. *Glob Change Biol* 2008, 14:2262–2275.
59. Fischer J, Brosi B, Daily GC, Ehrlich PR, Goldman R, Goldstein J, Lindenmayer DB, Manning AD, Mooney HA, Pejchar L. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Front Ecol Environ* 2008, 6:380–385.
60. Ziervogel G, Ericksen PJ. Adapting to climate change to sustain food security. *WIREs Clim Change* 2010, 1:525–540. doi:10.1002/wcc.56.
61. Haglund E, Ndjeunga J, Snook L, Pasternak D. Dry land tree management for improved household livelihoods: farmer managed natural regeneration in Niger. *J Environ Manag* 2011, 92:1696–1705.
62. Rahman SA, De Groot WT, Snelder D. Exploring the agroforestry adoption gap: financial and socioeconomic of litchi-based agroforestry by smallholders in Rajshahi, Bangladesh. En: Snelder D, Lasco R, eds. *Smallholder Tree Growing for Rural Development and Environmental Services: Lessons from Asia. Advances in Agroforestry* Dordrecht, Países Bajos: Springer; 2008.
63. Swallow B, Russell D, Fay C. Agroforestry and environmental governance. En: Garrity D, Okono A, Grayson M, Parrott S, eds. *World Agroforestry into the Future*. Nairobi:World Agroforestry Centre; 2006.
64. van Noordwijk M, Suyanto DA, Lusiana B, Ekadinata A, Hairiah K. Facilitating agroforestation of landscapes for sustainable benefits: tradeoffs between carbon stocks and local development benefits in Indonesia according to the FALLOW model. *Agric Ecosyst Environ* 2008, 126:98–112.
65. Suyanto S, Pandu Permana R, Khususiyah N, Joshi L. Land tenure, agroforestry adoption, and reduction of fire hazard in a forest zone: a case study from Lampung, Sumatra, Indonesia. *Agroforest Syst* 2005, 65:1–11.
66. Olsson L, Jerneck A. Farmers fighting climate change—from victims to agents in subsistence livelihoods. *WIREs Clim Change* 2010, 1:363–373. doi:10.1002/wcc.44.
67. Pattanayak SK, Kramer R. Worth of watersheds: a producer surplus approach for valuing drought mitigation in Eastern Indonesia. *Environ Dev Econ* 2001, 6:123–146.
68. Charoenphong S. Environmental calamity in southern Thailand's headwaters: causes and remedies. *Land Use Policy* 1991, 8:185–188.
69. Gaillard JC, Liamzon CC, Maceda EA. Retour sur les causes d'une catastrophe: Pourquoi plus de 1600 morts aux Philippines fin 2004? *Mondes en Développement* 2007, 35:35–50.
70. Locatelli B, Vignola R. Managing watershed services of tropical forests and plantations: can meta-analyses help? *Forest Ecol Manag* 2009, 258:1864–1870.
71. Andreassian V. Water and forests: from an historical controversy to scientific debate. *J Hydrol* 2004, 291:1–27.

72. Bruijnzeel L. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agric Ecosyst Environ* 2004, 104:185–228.
73. Calder I. Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. *Land Use Water Resour Res* 2002, 2:1–12.
74. Kaimowitz D. Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America. En: Bonell M, Bruijnzeel LA, eds. *Forests, Water, and People in the Humid Tropics: Past, Present, and Future. Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press; 2005.
75. Kosoy N, Martínez-Tuna M, Muradian R, Martínez-Alier J. Payments for environmental services in watersheds: insights from a comparative study of three cases in Central America. *Ecol Econ* 2007, 61:446–455.
76. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). *Forests and Floods: Drowning in Fiction or Thriving on Facts?* Forest Perspectives Series 2. CIFOR, Bogor, Indonesia, 2005.
77. Alila Y, Kuras PK, Schnorbus M, Hudson R. Forests and floods: a new paradigm sheds light on age-old controversies. *Water Resour Res* 2009, 45:W08416. doi:10.1029/2008WR007207.
78. Bradshaw CJA, Sodhi NS, Peh KSH, Brook BW. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Glob Change Biol* 2007, 13:2379–2395.
79. DeWalle DR. Forest hydrology revisited. *Hydrol Process* 2003, 17:1255–1256.
80. Ellison D, Futter M, Bishop K. On the forest cover water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Glob Change Biol* 2012, 18:806–820.
81. Makarieva A, Gorshkov V. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol Earth Syst Sci* 2007, 11:1013–1033.
82. Sheil D, Murdiyarso D. How forests attract rain: an examination of a new hypothesis. *Bioscience* 2009, 59:341–347.
83. Meesters A, Dolman A, Bruijnzeel L. Comentario sobre “Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land” por Makarieva AM y Gorshkov VG. *Hydrol Earth Syst Sci* 2009, 11:1013–1033.
84. Sidle RC, Ziegler AD, Negishi JN, Nik AR, Siew R, Turkelboom F. Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecol Manag* 2006, 224:199–225.
85. Crozier M. Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review. *Geomorphology* 2010, 124:260–267.
86. Perotto-Baldivezo H, Thurow T, Smith C, Fisher R, Wu X. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. *Agric Ecosyst Environ* 2004, 103:165–176.
87. Wertz-Kanounnikoff S, Locatelli B, Wunder S, Brockhaus M. Ecosystem-based adaptation to climate change: what scope for payments for environmental services? *Clim Dev* 2011, 3:143–158.
88. Badola R, Hussain S. Valuing ecosystem functions: an empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove ecosystem, India. *Environ Conserv* 2005, 32:85–92.
89. Das S, Vincent JR. Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone. *Proc Natl Acad Sci USA* 2009, 106:7357–7360.
90. Schleupner C. Spatial assessment of sea level rise on Martinique’s coastal zone and analysis of planning frameworks for adaptation. *J Coast Conserv* 2007, 11: 91–103.
91. Mustelin J, Klein RG, Assaid B, Sitari T, Khamis M, Mzee A, Haji T. Understanding current and future vulnerability in coastal settings: community perceptions and preferences for adaptation in Zanzibar, Tanzania. *Popul Environ* 2010, 31:371–398.
92. Adger WN. Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Dev* 1999, 27:249–269.
93. Baird AH, Bhalla RS, Kerr AM, Pelkey NW, Srinivas V. Do mangroves provide an effective barrier to storm surges? *Proc Natl Acad Sci USA* 2009, 106:E111.
94. Bayas JCL, Maroh C, Dercon G, Dewi S, Piepho HP, Joshi L, van Noordwijk M, Cadisch G. Influence of coastal vegetation on the 2004 tsunami wave impact in west Aceh. *Proc Natl Acad Sci USA* 2011, 108: 18612–18617.
95. Ewel KC, Twilley RR, Ong JE. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Glob Ecol Biogeogr Lett* 1998, 83–94.
96. Feagin RA, Mukherjee N, Shanker K, Baird AH, Cinner J, Kerr AM, Koedam N, Sridhar A, Arthur R, Jayatissa LP, et al. Shelter from the storm? Use and misuse of coastal vegetation bioshields for managing natural disasters. *Conserv Lett* 2010, 3:1–11.
97. Osti R, Tanaka S, Tokioka T. The importance of mangrove forest in tsunami disaster mitigation. *Disasters* 2009, 33:203–213.
98. Alongi DM. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuar Coast Shelf Sci* 2008, 76:1–13.
99. Massel S, Furukawa K, Brinkman R. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynam Res* 1999, 24:219–249.
100. Sherman RE, Fahey TJ, Battles JJ. Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest. *J Ecol* 2000, 88:165–178.
101. Ellison J. How South Pacific mangroves may respond to predicted climate change and sea-level rise. *Clim Change South Pac: Impacts Responses Aust N Z Small Island States* 2003, 289–300.
102. Gilman EL, Ellison J, Duke NC, Field C. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquat Bot* 2008, 89:237–250.
103. Gilman EL, Ellison J. Efficacy of alternative low cost approaches to mangrove restoration, American Samoa. *Estuar Coasts* 2007, 30:641–651.
104. Cochard R, Ranamukhaarachchi S, Shivakoti G, Shipin O, Edwards P, Seeland K. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: a review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 2008, 10:3–40.
105. Gill SE, Handley JF, Ennos AR, Pauleit S. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environ* 2007, 33:115–133.
106. Solecki WD, Rosenzweig C, Parshall L, Pope G, Clark M, Cox J, Wiencke M. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Glob Environ Change* 2005, 6(Pt B):39–49.
107. Herz R. Considering climatic factors for urban land use planning in the Sahelian zone. *Energy Build* 1998, 11:91–101.
108. Adinna E, Christian EI, Okolie AT. Assessment of urban heat island and possible adaptations in Enugu urban using landsat-ETM. *J Geogr Reg Plan* 2009, 2:030–036.
109. Pauchard A, Aguayo M, Peña E, Urrutia R. Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: the case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biol Conserv* 2006, 127: 272–281.
110. Dobbs C, Escobedo FJ, Zipperer WC. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landsc Urban Plan* 2011, 99: 196–206.
111. Roberts D, Boon R, Diederichs N, Douwes E, Govender N, McInnes A, McLean C, O’Donoghue S, Spires M. Exploring ecosystem-based adaptation in Durban, South Africa: “learning-by-doing” at the local government coal face. *Environ Urban* 2012. doi:10.1177/0956247811431412.
112. Gutman P. Ecosystem services: foundations for a new rural-urban compact. *Ecol Econ* 2007, 62:383–387.

113. Li F, Wang R, Paulussen J, Liu X. Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landsc Urban Plan* 2005, 72:325–336.
114. Ebert A, Welz J, Heinrichs D, Krellenberg K, Hansjürgens B. Socio-environmental change and flood risks: the case of Santiago de Chile. *Erdkunde* 2010, 64:303–313.
115. Escobedo FJ, Kroeger T, Wagner JE. Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices. *Environ Pollut* 2011, 159: 2078–2087.
116. Brooks N, Adger WN, Kelly PM. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Glob Environ Change* 2005, 15:151–163.
117. Samson J, Berteaux D, McGill B, Humphries M. Geographic disparities and moral hazards in the predicted impacts of climate change on human populations. *Glob Ecol Biogeogr* 2011, 20:532–544.
118. Adger WN, Huq S, Brown K, Conway D, Hulme M. Adaptation to climate change in the developing world. *Prog Dev Stud* 2003, 3:179–195.
119. Costanza R, Pérez-Maqueo O, Martínez ML, Sutton P, Anderson SJ, Mulder K. The value of coastal wetlands for Hurricane protection. *Ambio* 2008, 37:241–248.
120. Singh K, Walters BB, Ollerhead J. Climate change, sea-level rise and the case for salt marsh restoration in the Bay of Fundy, Canada. *Environments* 2007, 35:71–84.
121. Turner RK, Burgess D, Hadley D, Coombes E, Jackson N. A cost-benefit appraisal of coastal managed realignment policy. *Glob Environ Change* 2007, 17: 397–407.
122. Raudsepp-Hearne C, Peterson GD, Tengö M, Bennett EM, Holland T, Benessaiah K, MacDonald GK, Pfeifer L. Untangling the environmentalist's paradox: why is human well-being increasing as ecosystem services degrade? *Bioscience* 2010, 60:576–589.
123. Evenson RE, Gollin D. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 2003, 300: 758–762.
124. Turner RK, Daily GC. The ecosystem services framework and natural capital conservation. *Environ Resour Econ* 2008, 39:25–35.

Este documento es una traducción del siguiente artículo científico:

Pramova E., Locatelli B., Djoudi H. y Somorin O. 2012. Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. *WIREs Climate Change* 3:581–596. doi: 10.1002/wcc.195.

Esta es una traducción no oficial del artículo publicado por Wiley. El editor no ha avalado esta traducción.

Este documento ha sido elaborado con la ayuda financiera del CRP6 (Programa de Investigación de CGIAR sobre Bosques, Árboles y Agroforestería), AusAID (Acuerdo 63560 de la Asociación de Investigación CIFOR REDD+), el proyecto ACFAO, financiado por el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial, y el proyecto COBAM, financiado por el Programa de Apoyo a la Conservación de los Ecosistemas de la Cuenca del Congo (PACEBCo) del Banco Africano de Desarrollo y la Comunidad Económica de los Estados del África Central.

Cómo citar este documento: utilice la referencia del artículo original: Pramova E., Locatelli B., Djoudi H. y Somorin O. 2012. Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. *WIREs Climate Change* 3:581–596. doi: 10.1002/wcc.195.

Fotografías de Bruno Locatelli

Esta investigación fue realizada por CIFOR como parte del Programa de Investigación de CGIAR sobre Bosques, Árboles y Agroforestería. El objetivo del programa es mejorar el manejo y uso de los bosques, la agroforestería y los recursos genéticos de los árboles a lo largo del paisaje, desde bosques hasta plantaciones. CIFOR dirige el programa de colaboración en asociación con Bioversity International, CIRAD, el Centro Internacional de Agricultura Tropical y el Centro Mundial de Agroforestería.



**Australian Government**  
**AusAID**



**cifor.org**

**blog.cifor.org**



#### Center for International Forestry Research

CIFOR impulsa el bienestar humano, la conservación ambiental y la equidad mediante investigación orientada hacia políticas y prácticas que afectan a los bosques de los países en vías de desarrollo. CIFOR es un centro de investigación del Consorcio CGIAR. La sede principal de CIFOR se encuentra en Bogor, Indonesia. El centro también cuenta con oficinas en Asia, África y Sudamérica.

